



TITLE:

# Systematic errors of cosmological gravity test using redshift space distortion( Abstract\_要旨 )

AUTHOR(S):

Ishikawa, Takashi

---

CITATION:

Ishikawa, Takashi. Systematic errors of cosmological gravity test using redshift space distortion. 京都大学, 2015, 博士(理学)

ISSUE DATE:

2015-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k18795>

RIGHT:

( 続紙 1 )

|  |  |        |       |
|--|--|--------|-------|
| 京都大学   | 博 士（理 学）   | 氏<br>名 | 石川 敬視 |
| 論文題目   | Systematic errors of cosmological gravity test using redshift space distortion |        |       |
| (論文内容の要旨)  |  |        |       |
| <p>本論文は、銀河分布の観測に現れる赤方偏移空間歪みを使って重力理論に制限を加える際、どの程度の系統誤差が生み出されるかを、重力多体シミュレーションを基に見積もった結果を報告するものである。</p> <p>Ia型超新星を用いた精密な距離測定より、我々の宇宙が加速膨張しているという事実が発見された。一般相対性理論の枠組みにおいてこれを説明するためには、斥力として働くダークエネルギー（あるいはアインシュタインの宇宙項）の存在、または、重力理論の修正が必要となる。異なる重力理論は異なる宇宙の大規模構造の成長率を预言するので、それを利用して大規模銀河赤方偏移サーベイから重力理論を制限する試みが、近年、複数のグループにより精力的に進められている。銀河までの距離は、距離に比例して観測者からの後退速度が速くなるという宇宙膨張（ハッブル）の法則を使って推定するため、もし銀河が宇宙膨張からずれた速度（特異速度）をもつとすると、観測された銀河分布は実際の銀河分布に対して視線方向に歪むと予想される。これが「赤方偏移空間歪み」（redshift space distortion）とよばれる現象で、歪みの度合いは大規模構造の成長率を反映することが知られている。そこで、銀河分布における赤方偏移空間歪みのデータを解析すれば、原理上、重力理論に対する制限を得ることができる。しかしながら、小スケールでの密度ゆらぎの非線形成長の効果や、ダークマター分布と銀河分布とが異なる効果（銀河バイアス）が、観測データの解析において系統誤差の原因となりうるのでその定量的評価が重要となる。</p> <p>申請者は、この赤方偏移空間歪みの解析から求まる構造形成の成長速度を表すパラメータ<math>f\sigma_8</math>（現在における密度ゆらぎの線形成長率<math>f</math>と<math>8h^{-1}</math> Mpcスケールのゆらぎの振幅<math>\sigma_8</math>の積、ただし<math>h</math>は宇宙膨張速度を表すパラメータ）の測定における系統誤差を、重力多体シミュレーションの手法を用いて定量的に求めた。</p> <p>具体的には、まずシミュレーションから銀河分布に対応すると考えられるダークハロー（重力的に束縛されたダークマターの塊）を同定し、赤方偏移及び質量下限値の異なる様々な模擬カタログを構築した。これを擬似観測して赤方偏移空間でパワースペクトルを測定し、赤方偏移空間歪みの理論モデルでフィットすることにより<math>f\sigma_8</math>値を求めた。一般にこの値は、シミュレーションにおいて仮定した値からずれる。申請者はそのずれの量を、宇宙年齢（赤方偏移<math>z = 0.5, 1.35, 2</math>）毎に、赤方偏移空間歪みや銀河バイアスに対するモデル、ハロー質量、解析に用いるフーリエ波数の範囲を変えて詳細に調べた。その結果、線形の赤方偏移空間歪みモデルおよびバイアスを一定値</p> |  |        |       |

と仮定した解析では、小スケール ( $0.1h^{-1} \text{ Mpc}$ ) のデータまで解析に含めた場合、求めた  $f\sigma_8$  値が正しい値から大きくずれることがわかった。高次の補正項までを考慮した非線形赤方偏移空間歪みモデル、および空間スケール依存性をもったバイアスモデルを組み合わせると、極端に重たいハローカタログを除き、広い波数領域を用いた解析でも赤方偏移パワースペクトルをよくフィットでき、 $f\sigma_8$  値測定の系統誤差を典型的に 5% 以下に押さえられることが分かった。

この値は、現在進行中の、あるいは近い将来に予定されている地上観測による大規模サーベイから得られる統計誤差と同等かそれ以下であり、モデルが赤方偏移空間歪み解析に十分に有効であると結論した。

(論文審査の結果の要旨)

観測データを基に宇宙の構造やその形成過程についての知見を得る「観測的宇宙論」という分野は、現代天文学の中でもひとときわ進展がめざましい分野といえる。近年続々とさまざまな観測結果が公表されており、なかでも宇宙初期の情報を今に伝えてくれる宇宙マイクロ波背景放射の詳細観測や、遠方Ia型超新星の観測による宇宙の加速膨張の証明は、我々の宇宙観を大きく変えうるインパクトをもって研究者を魅了した。一方でこうした宇宙の観測は「宇宙はダークマターやダークエネルギーといった見えない存在によって支配されている」ことを如実に示し、新しい謎をも生み出したといえる。ことに加速膨張を生み出すダークエネルギーの正体は相当の難問といえよう。その解明には、前世紀における相対性理論・量子力学の確立に匹敵する、次の物理学の大革命が必要だろうとも言われている。

本申請論文は、この基本課題に果敢に取り組み、ダークエネルギーや重力理論に対し大規模構造のサーベイ観測を基に制限を加えていこうという壮大なプロジェクトの一環をなすものであり、その意義と申請者の意欲が十分に認められる。

申請者は、重力理論の切り分けをするために、赤方偏移空間歪みという現象に注目した。銀河までの距離は、宇宙膨張速度を表す赤方偏移を用いて推定する。したがって、もし銀河が宇宙膨張からずれた速度（特異速度）をもつとしたら、観測された銀河分布は実際の銀河分布に対して視線方向に歪むであろう。それが赤方偏移空間歪みであり、歪みの度合いは大規模構造の成長率を反映することから、密度ゆらぎの成長率（正確には $f\sigma_8$ 値）がいろいろな宇宙年齢で求められる。こうして重力理論に制限を加え、ひいてはダークエネルギーの解明に結びつけようというのである。このテーマは先駆的であり、申請者のすぐれた着眼点がうかがえる。

しかしながら、 $f\sigma_8$ 値を観測データから求めるには、測定における系統誤差を正確に知ることが不可欠である。申請者は宇宙の構造形成シミュレーションを実行し、そのデータを擬似観測してどのような結果が得られるかを、宇宙年齢（赤方偏移）毎に、赤方偏移空間歪みや銀河バイアスのモデル、ハロー質量、解析に用いるフリーエ波数の範囲を変えて何度も繰り返して調査した。その結果、高次の補正項までを考慮した非線形赤方偏移空間歪みモデルと、空間スケール依存性をもった銀河バイアスモデルを組み合わせることにより、バイアスが大きな（大質量の）ダークハローを除き、 $f\sigma_8$ 値を精度よく、すなわち系統誤差を典型的に5%以下に抑えることができることを示した。この値は、現在進行中の、あるいは近未来に予定されている地上観測による大規模サーベイから得られる統計誤差と同等かそれ以下である。すなわち、本申請論文は観測データにおける赤方偏移空間歪み解析の有効性を示すものであり、その点が極めて高く評価できる。なお、将来のスペースからの観測は誤差1-2%を達成する見込みであり、そのことも見据えて、今後さらに系統誤差を少

なくするための検討が必要となろう。

本申請論文において、赤方偏移空間歪みの測定における系統誤差を精緻なシミュレーションと緻密な解析により定量化したことは、観測的宇宙論の研究分野において重要な一歩を記す研究として位置づけることができる。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成27年1月16日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日：平成      年      月      日以降